Efecto de la aplicación de vinazas en las propiedades físicas y la actividad de deshidrogenasas en suelos cultivados con maíz dulce (*Zea mays* L.)

Effect of vinasse application on physical properties and dehydrogenases activity in soils under sweet corn (*Zea mays* L.) cultivation

Magda Narváez Castillo[1], Marina Sánchez de Prager[2], Juan Carlos Menjívar Flores[3].

1,2, 3. Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira. Facultad de Ciencias Agropecuarias. AA 2372, Palmira, Valle del Cauca Colombia: mcnarvaezc@palmira.unal.edu.co, msanchezdp@palmira.unal.edu.co, jcmenjivarf@unal.edu.co

Recibido: 10-6-2008 Aceptado: 14.05.10

Resumen

Se evaluó el efecto de la aplicación de vinazas en algunas propiedades físicas y en la actividad de las deshidrogenasas en un Entic dystropept y en un Fluventic haplustoll del Valle de Cauca, Colombia. Para suplir los requerimientos de K^+ del cultivo de maíz dulce (*Zea mays* L.) se utilizaron seis tratamientos (T1 = 100% de K^+ como vinaza, T2 = 100% de K^+ con KCl; T3 = 50% de K^+ como vinaza y KCl, T4 = 75% de K^+ con vinaza y 25% de K^+ como KCl, T5 = testigo absoluto sin planta, T6 = testigo más planta) que fueron dispuestos en un diseño completamente al azar con cinco repeticiones. En el Entic dystropept la densidad aparente disminuyó y en consecuencia la porosidad total aumentó, mientras que en el Fluventic haplustoll sucedió lo contrario. La actividad de las deshidrogenasas fue significativamente mayor ($P < 0.05$) en el Entic dystropept que en el Fluventic haplustoll que presentó valores bajos. Los resultados mostraron que los cambios que se generan como producto de la aplicación de vinazas son diferentes para ambos tipo de suelo.

Palabras clave: Vinaza, enmiendas orgánicas, actividad enzimática, Typic Argiudoll, Fluventic Haplustoll, propiedades fisicoquímicas, *Zea mays* L.

Abstract

The effect of vinasse application was assessed on physical properties and dehydrogenases activity in Entic Dystropept and Fluventic Haplustoll of Valle del Cauca, Colombia. To meet the requirements of K+ in sweet corn (Zea mays L.) six treatments were used (T1 = 100% of K+ as vinasse; T2 = 100% of K+ with KCl; T3 = 50% of K+ as vinasse and KCl; T4 = 75% of K+ with vinasse and 25% of K+ as KCl; T5 = absolute control without plants; T6 = control plus plants) arranged in a completely randomized design with five replications. In Dystropept Entic bulk density decreased and consequently the total porosity increased, while the opposite happened in Haplustoll Fluventic. The dehydrogenase activity was significantly higher ($P <0.05$) in the Dystropept Entic than in Haplustoll Fluventic presenting low values. The results showed that the changes that are generated as a result of the application of vinasse are different for each type of soil.

Key words: Organic admendement, enzymatic activity, vinasse, Typic Argiudoll, Fluventic Haplustoll, chemicophysical properties, *Zea mays* L.

Introducción

Las vinazas son un subproducto derivado de la industria azucarera, cuya composición depende de la variedad y el estado de maduración de la caña a la cosecha, el sustrato, el tipo y la eficiencia de fermentación y destilación (García y Rojas, 2006).

Las vinazas producidas en el Valle del Cauca (Colombia) se caracterizan por presentar pH ácido y elevados contenidos de carbono orgánico, potasio, calcio, magnesio, azufre y concentración electrolítica. Por su alto contenido de potasio son una alternativa utilizada como enmienda para corregir problemas de salinidad en el suelo (Subiros y Molina, 1992). No obstante, por su elevada DBO (demanda bioquímica de oxígeno) poseen un alto potencial contaminante en los cuerpos de agua.

La producción excesiva de vinaza como subproducto de la industria azucarera ha creado la necesidad de investigar las ventajas y los perjuicios que su uso puede generar, tanto en las propiedades químicas y físicas de los suelos como en la contaminación de estos y de las aguas subterráneas. Entre los indicadores de cambio se encuentran las enzimas que indican las reacciones bioquímicas y son sensibles a los cambios generados por las prácticas de manejo agronómico (Cerón y Melgarejo, 2005; Yoshioka, 2005; Bolaños et al., 2006).

Las deshidrogenasas actúan en la degradación de la materia orgánica y son indicadores importantes del metabolismo oxidativo y de la actividad microbiana que ocurre en los suelos (Quilchano y Marañón, 2002). Por esta razón en este ensayo fueron seleccionadas para evaluar en condiciones controladas el efecto de la vinaza sobre la calidad de los suelos, estimada en términos de metabolismo oxidativo y su relación con los cambios que se generan en algunas propiedades físicas.

Materiales y métodos

El ensayo se realizó en el invernadero de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira (3° 30' 45.6" N y 76° 18' 29.91" O) utilizando suelos Entic Dystropept de la hacienda Miravalle del municipio de Florida (3° 18' 20.1" N y 76° 14' 11" O) a 1037 m.s.n.m., cultivado con maíz en rotación, y Fluventic Haplustoll de la hacienda Gertrudis del Ingenio Manuelita (3° 35' 51.1" N y 76° 16' 8.9" O) a 1049 m.s.n.m, cultivado con caña de azúcar.

Los tratamientos (T1 = 100% de K^+ como vinaza, T2 =100% de K^+ como KCl, T3 = 50% de K^+ como vinaza y KCl, T4 = 75% de K^+ como vinaza y 25% de K^+ como KCl, T5 = testigo absoluto sin planta, T6 = Testigo más planta) se dispusieron en un diseño completamente al azar con cinco repeticiones. Con ellos se esperaba suplir los requerimiento de potasio del cultivo de maíz dulce (*Zea mays* L.) establecido en recipientes plásticos con capacidad cada uno de 10 kg de suelo seco al aire y utilizados como parcelas experimentales. Estos suelos fueron disturbados.

La fertilización básica consistió en dosis (kg/ha) equivalentes de 250 de K, 200 de N y 100 de P, considerando una densidad equivalente de 55,555 plantas/ha (0.9 m entre hileras y 0.2 m entre plantas), a una profundidad de siembra de 20 cm y densidades de 1.4 g/cm^3 y 1.25 g/cm^3 para el Entic Dystropept y el Fluventic Haplustoll, respectivamente. En total se hicieron cuatro muestreos de suelos: (1) al inicio del ensayo antes de la siembra; (2) 10 días después de la siembra (d.d.s.), antes de la primera fertilización, (3) 38 días del cultivo, después de la primera fertilización; y (4) 76 d.d.s., al momento de cosecha.

La vinaza utilizada en el ensayo provino del Ingenio Providencia, presentó reacción extremamente ácida y altos contenidos de K, Ca, Mg y Na (Cuadro 1). El potasio fue el elemento de mayor concentración seguido del magnesio. Para el resto de nutrientes las concentraciones fueron bajas.

Las variables evaluadas fueron densidad aparente, textura, estabilidad de agregados y porosidad total (Malagón y Montenegro, 1990), y deshidrogenasas (Trasar et al., 2003). Los niveles de actividad enzimática fueron medidos por espectrofotometría mediante la reducción del 2-p-iodofenil-3-p-nitrofenil-5-feniltetrazolio (INT) para formar iodonitrotetrazolio formazán (INTF). Las unidades de medida de las deshidrogenasas se expresaron en µmol/g de INTF producido por

g de suelo incubado durante 1 hora (μmoles de INTF/g por hora) (Trasar et al., 2003).

Los resultados se sometieron a análisis de varianza (Andeva) con una probabilidad ($P < 0.05$) para evaluar el efecto de los tratamientos y edades del cultivo de maíz en las propiedades del suelo antes mencionadas. Los promedios se compararon por las pruebas de Tukey, Duncan y DMS.

Cuadro1. Caracterización química de la vinaza

Propiedades	Vinaza 25%
pH (1:1)	4.5
	(kg/m^3)
N	0.007
P_2O_5	0.002
K_2O	34.04
CaO	3.41
MgO	9.61
SO_3^-	0.27
B_2O	0.01
Fe_2O_3	0.45
MnO	0.03
CuO	0.004
ZnO	0.009
Na	2.23

Fuente: Centro de Investigación de Agricultura Tropical (CIAT

Resultados y discusión

Características físicas de los suelos

Los suelos presentaron una textura franco arcillosa (Cuadro 2). En el T4 el suelo Entic Dystropept presentó una disminución significativa en la densidad aparente al finalizar el ensayo con respecto a los valores iniciales (75:25), lo que incrementó la porosidad (53.5%, $P < 0.05$), en el mismo tratamiento, siendo este comportamiento válido para el resto de tratamientos; la tendencia de estas dos variables está estrechamente relacionada, lo que favorece la circulación del aire y la infiltración del agua que se drena por la fuerza de gravedad y favorece el desarrollo de las raíces (Primavesi, 1987; Narro, 1994).

El análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas en el índice de estabilidad de los agregados, que fue mayor al finalizar el ensayo. El diámetro promedio presentó diferencias significativas entre muestreos, con tendencia a disminuir la estabilidad estructural del suelo (SCSS, 1990). A pesar de ello en el último muestreo no se presentaron diferencias entre tratamientos para todas las variables evaluadas, esto, quizá, por efecto del desarrollo del cultivo, la reorganización de las partículas de suelo y la degradación de la vinaza.

En el suelo Fluventic Haplustoll (Cuadro 3) la densidad aparente al finalizar del ensayo incrementó ($P < 0.05$) en todos los tratamientos en especial con 100% vinaza (T1). En el muestreo final, el T3 (50:50) la D.A. fue menor ($P < 0.05$) en comparación con

Cuadro 2. Cambios en las propiedades físicas de un suelo Entic Dystropept por efecto de la aplicación de vinaza y KCl.

Parámetro	Testigo (sin K)	Fuentes de K y proporción vinaza:KCl aplicada			
		KCl	Vinaza	50:50	75:25
Densidad aparente (g/cm^3)	1.39a*	1.21 b*	1.23 b*	1.24b*	1.20 b*
Textura	Franco arcillosa				
Arcilla (%)	33.01	31.76	33.76	34.76	31.76
Limo (%)	29.7	34.00	28.00	28.80	28.00
Arena (%)	37.3	34.20	38.20	36.40	40.20
Estabilidad de agregados					
Tamiz -10	63.82	33.40	46.30	35.90	36.70
Tamiz – 20	10.41	16.60	17.50	17.70	16.80
Tamiz – 35	7.82	20.10	14.20	15.20	16.20
Tamiz – 60	5.40	10.10	7.63	8.90	8.29
Tamiz < 60	13.49	19.80	14.50	22.20	22.70
Índice de estabilidad	0.30 a*	0.93 b*	0.66 b*	0.72 b*	0.70 b*
Diámetro ponderado promedio (mm)	0.95 a*	0.68 b*	0.84 b*	0.70 b*	0.71 b*
Porosidad %	46.19 a*	53.2 b*	52.49 b*	53.28 b*	53.57(b)*

* Valores en una misma fila seguidos de letras diferentes, son estadísticamente diferentes ($P < 0.05$), según la prueba de Duncan y Tukey.

Cuadro 3. Cambios en las propiedades físicas de un suelo Fluventic Haplustoll por efecto de la aplicación de vinaza y KCl.

Parámetro	Testigo (sin K)	Fuentes de K y proporción vinaza:KCl aplicada			
		KCl	Vinaza	50:50	75:25
Densidad aparente (g/cm^3)	1.23 c*	1.43 a*	1.49 a*	1.35 b*	1.46 a*
Textura	Franco arcilloso				
Arcilla %	27.76	27.76	28.76	27.76	28.76
Limo %	42.3	42.00	42.00	43.00	42.00
Arena %	30.24	30.24	29.42	29.24	29.24
Estabilidad de agregados					
Tamiz -10	5.53	13.30	8.24	6.88	3.30
Tamiz – 20	8.95	2.63	17.4	2.56	2.50
Tamiz – 35	16.18	10.8	10.90	7.77	11.00
Tamiz - 60	17.95	13.3	16.20	13.60	13.60
Tamiz < 60	51.32	57.00	47.70	69.20	69.70
Índice de estabilidad	0.76 a	0.43 a	0.58 a	0.31 a	0.33 a
Diámetro ponderado promedio (mm)	0.24a	0.15 a	0.20 a	0.17 a	0.13 a
Porosidad %	52.50 c*	44.94b*	42.54 b*	48.01 a*	43.55 b*

* Valores en una misma fila seguidos de letras diferentes, son estadísticamente diferentes (P < 0.059), según la prueba de Duncan y Tukey.

los demás tratamientos, aunque los valores permanecieron dentro del rango normal (1 - 1.8 g/cm^{-3}) (Castro, 1998; Narro, 1994); no obstante, en el suelo se observaron costras que reflejan problemas de compactación del suelo, provocando disminuciones en el espacio poroso, lo que incrementa la resistencia a la penetración de raíces (Narro, 1994). Tejada et al. (2007), Tejada y González (2006) y Kay et al. (1997) encontraron que la aplicación de altas dosis de vinaza incrementan la densidad del suelo, lo que es atribuible a la presencia de sodio intercambiable en la vinaza.

En este estudio, el índice de estabilidad y el diámetro promedio ponderado de los agregados no presentaron diferencias significativas entre muestreos ni entre tratamientos, siendo estables durante todo el tiempo experimental.

Actividad enzimática de las deshidrogenasas

En el análisis de varianza se encontraron diferencias (P < 0.05) para la actividad enzimática, siendo más alta en el suelo Entic Dystropept (entre 0.83 y 3.93 µmoles de INTF/g por hora) que en el Fluventic Haplustoll (entre 0.8 y 1.8 µmoles de INTF/g por hora).

Durante el desarrollo del cultivo cada suelo presentó comportamientos diferentes, así, en el Entic Dystropept inicialmente (0 d.d.s.) la actividad de las deshidrogenasas fue baja, pero 10 días después incrementó para finalmente disminuir a los 38 d.d.s., coincidiendo con la época de floración del maíz y permaneciendo así hasta 76 d.d.s. En el suelo Fluventic Haplustoll la actividad de la enzima fue baja y permaneció constante a través de las épocas de muestreo (Figura 1).

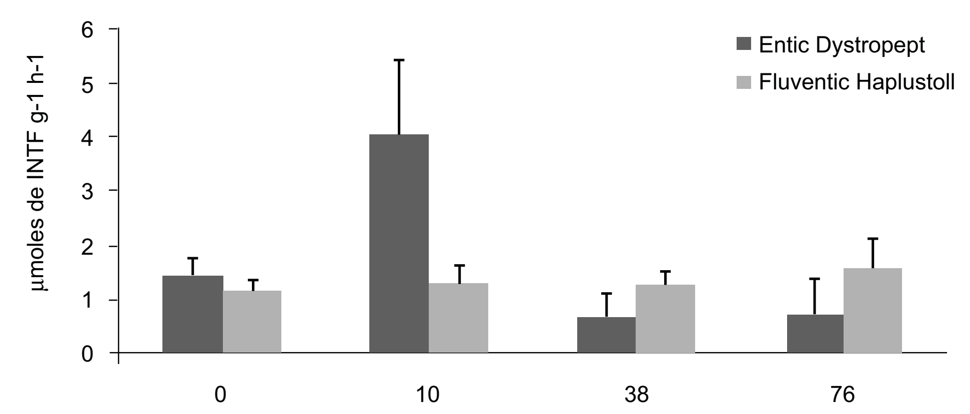


Figura 1. Actividad de las deshidrogenasas en los suelos a través del tiempo experimental.

Para los tratamientos, en el suelo Entic Dystropept el T3 (50:50 –0.38 µmoles de INTF/g/por hora–) disminuyó significativamente la actividad enzimática en comparación con los testigos (T5 –suelo 1.25 µmoles de INTF/g por hora, y T6 –con planta más 1.24 µmoles de INTF/g por hora). 76 d.d.s. todos los tratamientos presentaron diferencias (P < 0.05) en comparación con los tratamientos testigo (Figura 2). En el suelo Fluventic Haplustoll se presentaron diferencias (P < 0.05) a 38 y 76 d.d.s. en relación con el testigo suelo T5 –1.9 µmoles de INTF/g por hora–. En esta última edad, sólo la aplicación de KCl disminuyó significativamente las deshidrogenasas (0.8 µmoles de INTF/g por hora) (Figura 3).

Los resultados obtenidos en este estudio muestran los efectos de la actividad de las deshidrogenasas sobre las propiedades físicas de los suelos, lo cual es explicable debido a la propiedad oxido-reductasa de estas enzimas (Coyne, 2000).

En el suelo Fluventic Haplustoll se presentó un deterioro en algunas propiedades físicas, que pueden ser en cierta medida las responsables de la baja actividad enzimática que presentó este suelo. En este sentido, Tejada y González (2006) encontraron que la degradación de la estructura del suelo puede incrementar la densidad aparente y favorecer condiciones anaeróbicas, que además de disminuir la actividad de la biomasa

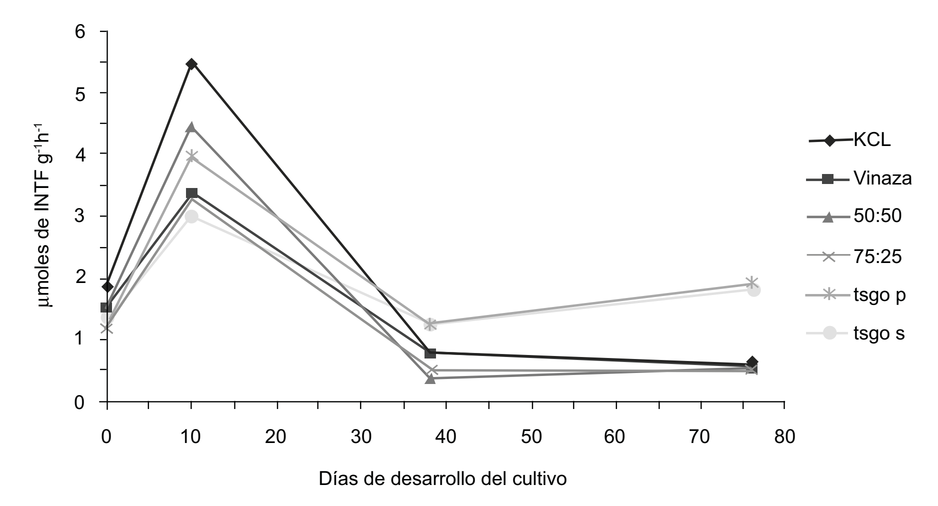


Figura 2. Actividad de deshidrogenasas en el suelo Entic Dystropept, durante 78 días de cultivo.

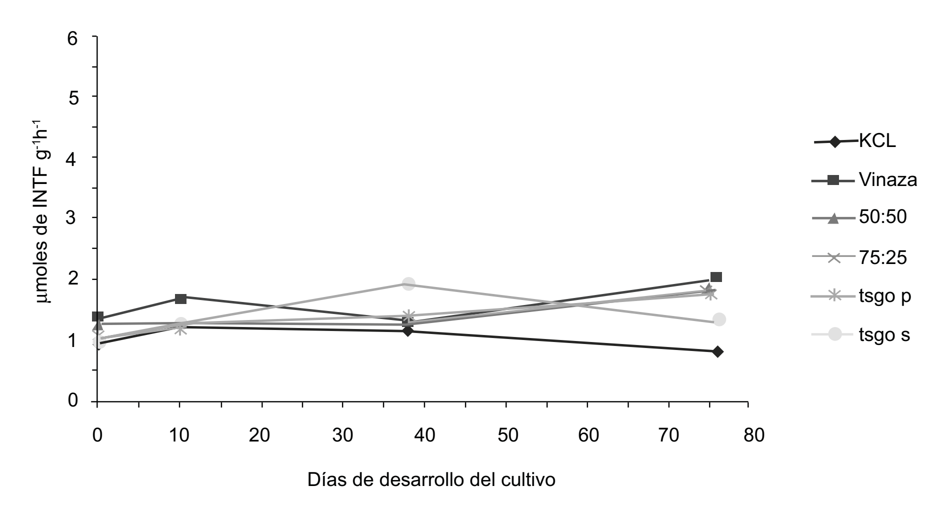


Figura 3. Actividad de deshidrogenasas en el suelo Fluventic Haplustoll, durante 78 días de cultivo.

microbiana, afecta el estado metabólico y la producción de enzimas por las células. Además, la reducción de la porosidad significa una distribución desigual de los agregados lo que altera la difusión de oxígeno (Tate, 2002). Al respecto, Riffaldi et al. (2002) hallaron una correlación negativa entre esta enzima y las condiciones deficientes de aireación debidas al manejo de los suelos.

Hernández et al. (2003) indican que la actividad de esta enzima no sólo depende del tipo de suelo, sino también del sistema de cultivo ya que la distribución espacial de los microorganismos y la mesofauna asociados con la producción de enzimas pueden estar parcialmente comprometidos con la distribución de los agregados. Algunos estudios (Jastrow y Miller, 1991; Tejada et al., 2006) muestran una correlación negativa entre la biomasa microbiana y la inestabilidad del suelo

En relación con la fuente de potasio y la actividad de las deshidrogenasas, se observó que la aplicación de KCl en el suelo Entic Dystropept estimuló la actividad de la enzima, mientras que en el suelo Fluventic Haplustoll la redujo. Pathak y Rao (1998) y Chandra et al. (2002) señalan que las bajas concentraciones de KCl pueden estimular el crecimiento y la actividad microbiana y que en dosis altas, este nutrimento puede resultar tóxico para los organismos y las plantas.

Por otra parte, las fuentes de potasio pueden afectar los enzimas Chandra et al. (2002) al estudiar el cloruro, el sulfato y la vinaza oxidada como fuentes de potasio encontraron que el primero afectaba negativamente los procesos de nitrificación y mineralización del carbono en comparación con el segundo, mientras que la vinaza oxidada incrementa el porcentaje de mineralización de carbono.

Tejada et al. (2006) evaluaron el efecto de la aplicación de vinaza fresca y compostada en la producción de remolacha y hallaron que la actividad enzimática disminuyó. Pascua et al. (1998) consideran que la muerte de los microorganismos es debida a que el sustrato disponible no es suficiente para sostener la biomasa, o los complejos de la enzima intracelular son degradados por otros microorganismos que habitan en el suelo.

La aplicación de enmiendas orgánicas puede incrementar la actividad de las enzimas, excepto cuando contienen metales pesados o compuestos orgánicos tóxicos en altas concentraciones (Acosta y Paolini, 2005). Otros factores que afectan los mecanismos de acción de las deshidrogenasas son la acumulación de compuestos xenobióticos utilizados como pesticidas para combatir plagas e insectos, los que inhiben las poblaciones microbianas en el mediano y largo plazos y ocasionan la degradación biológica del suelo (Duah-Yentumi y Johnson, 1986). Este hecho puede explicar los bajos contenidos de esta enzima para los suelos evaluados, de acuerdo con su historia de manejo –Entic Dystropept con maíz en rotación y Fluventic Haplustoll en monocultivo de caña–.

Conclusiones

- La reducción del espacio poroso en el suelo (D.A. > 1.4 g/cm^3) afecta negativamente la actividad de las deshidrogenasas en el tiempo.
- La actividad de las deshidrogenasas es afectada en forma muy significativa por la edad del cultivo del maíz y por la fuente de potasio, sin embargo, el efecto de estas variables sobre la respuesta enzimática también está mediado por las variables que definen las condiciones de aireación y movimiento de agua en los suelos.

Agradecimientos

Al Programa Uso y Manejo de Suelos y Aguas, con énfasis en degradación de suelos, de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira por el apoyo en el desarrollo de esta investigación.

Referencias

Acosta, Y. y Paolini, J. 2005. Actividad de la enzima deshidrogenasa en un suelo Calciothids enmendado con residuos orgánicos. Agron. Trop. 55(2):217-232.

Bolaños, M.; Yoshioka, I; Sanchez de P, M.; e Indupulapati, R 2006. Actividad de fosfatasas ácida y alcalina en suelo cultivado con plátano en tres sistemas de manejo. Acta Agronómica 55(3):11-14.

Castro, H. 1998. Fundamentos para el conocimiento y manejo de suelos agrícolas. Manual técnico. Instituto universitario Juan de Castellanos Tunja p. 179.

Ceron, L. y Melgarejo, L. 2005. Enzimas del suelo: Indicadores de salud y calidad. Acta Biol. Col. 10(1):5 - 17.

Coyne, M. 2000. Microbiología del suelo, un enfoque exploratorio. Editorial Paraninfo, España. 416 p.

Chandra, S.; Josh, H.; Pathak, M.; Cjain, C.; y Kalra, N. 2002. Effect of potassium salts and distillery effluent o carbon mineralization in soil. Sci. Bioresour. Technol. 83:255 - 257.

Duah-Yentum, S. y Jonson, D. 1986. Changes in soil microflora in response to repeated applications of some pesticides. Soil Biol. Biochem. 8:629-635.

García, A. y Rojas, C. 2006. Posibilidades de uso de la vinaza en la agricultura, de acuerdo con su modo de acción en los suelos. Nota Técnica Tecnicaña. p. 3 - 13.

Hernández, W.; Rojas, J.; Rivero, C.; Centeno, A.; y Paolini, J. 2003. Efecto de tres sistemas de labranza de un suelo cultivado con maíz (*Zea mays* L.) Rev. Agron. Maracay. 29:171 - 18.

Jastrow, J. D. y Miller, R. M. 1991. Methods for assessing the affects of biota on soil structure. *Agric Ecosyst.* Environ. 34:279 - 303.

Kay, B. D.; Da Silva, A. P.; y Baldock, J. A. 1997. Sensitivity of soil structure to changes in organic carbon content: prediction using pedotransfer functions. Can. J. Soil Sci. 77: 655 - 667.

Malagón, D. y Montenegro, H. 1990. Propiedades físicas de los suelos. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). Bogotá. 811 p.

Narro, E. 1994. Física de suelos con enfoque agrícola. Editorial Trillas México. p. 195.

Pascua, J. A.; Hernandez, C.; Garcia, C.; y Ayuso, M. 1998. Enzymatic activities in an arid soil amended with urban organic wastes laboratory experiment. *Sci. Bioresour Technol.* 64:131 - 138.

Pathak, H. y Rao, D. 1998. Carbon and nitrogen mineralization from added organic matter in saline and alkaline soil. *Soil Biol. Biochem.* 30:695 - 702.

Primavesi, A. 1987. Manejo ecológico do Solo. 9ª edición. 549 p.

Quilchano, C. y Marañon, T. 2002. Dehydrogenase activity in Mediterranean forest. Soil Biol, *Fertile Soils.* 35:102 - 107.

Quintero, D. 2007. Investigaciones sobre el manejo de las vinazas aplicadas al suelo. Centro de Investigaciones de la Caña de Colombia (Cenicaña). 20p.

Riffaldi, R.; Saviozzi, A.; Levi-Minz, R.; y Cardelli, R. 2002. Biochemical properties of Mediterranean soil as affected by long term crop management system. Soil Till. Res. 67:104 - 114.

SCCS (Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo). 1990. Fundamentos para la interpretación de análisis de suelos, plantas y aguas para riego. Publicación de la Sociedad Colombiana de la Ciencia del suelo. 3 ed. Bogotá. p 323.

Subiros, J. y Molina, E. 1992. Efecto de la aplicación de vinazas en la producción de caña de azúcar y en las características químicas de un Inceptisol de Guanacaste, Costa Rica, Agron. Costarric. 16(1):55 - 60.

Tate, R. L. 2002. Microbiology and enzymology of carbon and nitrogen cycling. En: R. G. Burns and R. P. Dicks (eds.). Enzymes in the environmental Marcel Dekker. Inc Nueva York. p. 227 – 248.

Tejada, M.;Garcia, C.; Moreno, J.; y Hernández, M. 2007 Application of two beet vinasse forms in soil restoration: Effects on soil properties in an arid environment in southern Spain. *Agric. Ecol. Environ.* 119:289 - 298.

Tejada, M. y Gonzáles, J. 2006 Effects of two beet vinasse forms on soil physical properties and soil loss. Catena 68:41 - 50.

Trasar, C.; Gil, F.; y Leirós C. 2003. Técnicas de análisis de parámetros bioquímicos en suelos: Medida de actividades enzimáticas y biomasa microbiana. Mundi Prensa, Madrid. 370 p.

Yoshioka, I. 2005. Actividad de fosfatasas ácida y alcalina en un suelo cultivado con plátano *Musa* AAB: en tres sistemas de manejo. Tesis de maestría. Universidad Nacional de Colombia sede Palmira. 99 p.